



УДК 621.313

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗОВ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ВВОДОВ 110-220 КВ

DISPERSION ANALYSIS OF CONCENTRATIONS GASES OF OIL-FILLED TRANSFORMER BUSHINGS 110-220 KV

Казаков Максим Сергеевич, студент каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: nikita21.07.19944@mail.ru, Тел.: +7(999)559-28-38.

Давиденко Ирина Васильевна, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: inguz21@yandex.ru, Тел.: +7(922)619-19-88.

Maxim S. Kazakov, student, Department «Electric cars», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: nikita21.07.19944@mail.ru, Tel.: +7 (999) 559-28-38.

Irina V. Davidenko, Prof., Department «Electric cars», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: inguz21@yandex.ru, Tel.: +7(922)619-19-88.

Аннотация: Данная статья позволит более точно определить критерии оценки состояния маслонаполненных высоковольтных вводов по анализу растворенных в масле газов, что в свою очередь позволит снизить долю ошибок при интерпретации результатов и повысить надежность и качество эксплуатации.

Abstract: This article will allow to more accurately determine the criteria for assessing the state of oil-filled high-voltage bushings for analysis of dissolved gases in oil, which in turn will reduce the share of errors in interpreting the results and increase the reliability and quality of operation.

Ключевые слова: диагностирование; маслонаполненные высоковольтные вводы; силовой трансформатор; АРГ.

Key words: diagnostics; oil-filled high-voltage bushings; power transformer; DGA.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно процент аварий трансформатора из-за высоковольтных вводов довольно велик и составляет 9-40% по разным источникам. Разница в повреждаемости может быть связана с разным уровнем эксплуатации и диагностирования высоковольтных вводов.

Первым этапом диагностирования обычно является сравнение контролируемого параметра с его допустимым или предельно-допустимым значением (ДЗ, ПДЗ). У маслонаполненного оборудования наиболее простым и наиболее информативным методом контроля технического состояния является анализ растворенных в масле газов в (АРГ), выполняемый без вывода из эксплуатации.

В АРГ, как правило, определяют 7 основных газов (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_2). Полученные концентрации этих газов сравнивают с их нормированными значениями.

На данный момент на территории Российской Федерации действует РД 153-34.0-46.302-00 [1]. Однако это методическое указание распространяется (относительно вводов) только на высоковольтные герметичные вводы и нормируются только значения концентраций C_2H_2 и суммы углеводородных газов C_xH_y ($CH_4+C_2H_2+C_2H_4+C_2H_6$). Так же существует методические указания по диагностики состояния изоляции высоковольтных вводов, разработанные производителем вводов - ООО «Масса» [2]. В них имеются значения, регламентирующие концентрации H_2 , C_2H_2 , C_xH_y для двух марок масла (ГК и Т-750) классов напряжения 110-750кВ герметичных вводов.

Для снижения ошибок при определении технического состояния трансформаторных вводов (герметичных и негерметичных) необходимо иметь ДЗ и ПДЗ всех газов АРГ, дифференцирование по конструктивным особенностям и сроку наработки.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Для того чтобы принять решение по какому принципу проводить дифференцирование необходимо определить силу влияния каждого фактора на ДЗ (ПДЗ) концентраций газа. В данной работе для этой цели выбран дисперсионный анализ.

В анализе участвовали данные (результаты АРГ маслонаполненных вводов трансформаторов 110 и 220 кВ), накопленные за долгие годы в экспертно-диагностической информационной системе (ЭДИС) «Альбатрос» и данные предоставленные филиалами ПАО «Россети» в ходе научно-исследовательской работы по разработке редакции «Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов в силовых трансформаторах, реакторах и газовом реле по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле» [3]. Данные, которые участвовали в анализе, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Количество АРГ

Класс напряжения, кВ	Герметичность	Марка масла	Количество во анализах, штук
110	Герметичные	ГК	2585
		T-750	2486
	Негерметичные	ГК	137
		T-750	456
220	Герметичные	ГК	700
		T-750	413
	Негерметичные	ГК	4
		T-750	153

Дисперсионный анализ проводился для определения зависимости концентраций газов от класса напряжения, срока эксплуатации, марки масла и герметичности вводов трансформатора. Исследуемая выборка была разделена на группы: по классу напряжения 110 и 220кВ (по сроку эксплуатации 0-4, 4-14, 14-24, 24-50 лет, по маркам масла ГК и T-750, по герметичности на герметичные и негерметичные вводы.

Дисперсионный анализ сводится к сравнению остаточной и факторной дисперсий по критерию Фишера-Снедекора для определенного уровня значимости. Остаточная дисперсия на каждом уровне фактора находится по выражению представленной в формуле 1.

$$D_R = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^{K_i} (x_{ik} - \bar{M}_i)^2}{\sum_{i=1}^L K_i - L} \quad (1)$$

где \bar{M}_i – математическое ожидание i -го уровня фактора;

L – количество уровней фактора;

x_{ik} – значение признака на i -ом уровне;

K_i – мощность i -го уровня фактора.

Формула межгрупповой (факторной) дисперсии:

$$D_S = \frac{\sum_{i=1}^L K_i * (\bar{M}_i - \bar{M})^2}{L - 1} \quad (2)$$

где \bar{M} – математическое ожидание всего массива данных.

Согласно критерию Фишера-Снедекора, если выполняется неравенство 3, то фактор оказывает значимое влияние.

$$F_{SR} = \frac{D_S}{D_R} > W_{0,05} (W_{0,01}) \quad (3)$$

$W_{0,05}$ и $W_{0,01}$ – границы правой критической области критерия для уровней значимости 0,05 и 0,01, зависящие от числа степеней свободы факторной $N-L$ (N – мощность всего массива данных) и остаточной дисперсий $L-1$ [4]. На первом этапе анализировалось влияние герметичности на результаты АРГ.

В таблице 2 представлен пример исследования, демонстрирующий влияние герметичности на вводы класса напряжения 220 кВ с маркой масла T-750 для срока эксплуатации старше 24 лет. Значения $W_{0,05}(W_{0,01})$ были взяты из таблице Фишера [5].

Как видно из таблицы F_{SR} всех концентраций газов превышают значения $W_{0,05}(W_{0,01})$. Критерий Фишера-Снедекора выполняется и можно сделать вывод, что у вводов класса напряжения 220кВ и марки масла T-750 сильную зависимость от герметичности имеют все концентрации газов.

Таблица 2.

Влияние герметичности на вводы класса напряжения 220 кВ с маркой масла Т-750 и сроком эксплуатации старше 24 лет

Газ	D_S/D_R	$W_{0,05}(W_{0,01})$
H ₂	12,638	3,02
CO	290,744	
C ₂ H ₄	38,457	
C ₂ H ₂	10,543	
CH ₄	87,411	
CO ₂	30,717	
C ₂ H ₆	62,585	
C _x H _y +H ₂	18,051	

На втором этапе анализировалось влияние марки масла (ГК и Т-750) на результаты АРГ. В таблице 3 представлен пример, показывающий влияние марки масла на негерметичные вводы класса напряжения 110кВ.

Таблица 3.

Влияние марки масла на негерметичные вводы класса напряжения 110кВ, срок эксплуатации старше 24 лет.

Газ	D_S/D_R	$W_{0,05}(W_{0,01})$
H ₂	64,348	3
CO	60,978	
C ₂ H ₄	4,994	
C ₂ H ₂	0,107	
CH ₄	45,169	
CO ₂	5,644	
C ₂ H ₆	32,951	
C _x H _y +H ₂	42,519	

Из таблицы 3 следует, что критерий Фишера-Снедекора выполняется для всех концентраций, а это значит, что у негерметичных вводов класса напряжения 110кВ при сроке эксплуатации старше 24 лет от марки масла зависят все концентрации. Влияние марки масла на окиси углерода (CO и CO₂) объясняется более активным старением масла марки Т-750. Влияние марки масла на H₂, CH₄, C₂H₄ и C₂H₆ объясняется более активным газообразованием, присущим маслу марки ГК, особенно в приработочный период вводов. Причем это явление усиливается с повышением класса напряжения. На третьем этапе исследовалось влияние класса напряжения (110 и 220 кВ) на результаты АРГ. Критерий Фишера-Снедекора выполнялся для всех концентраций, а это значит класс напряжения оказывает заметное влияние. На рисунке 1, для наглядности представлены значения математического ожидания каждой концентрации газа для класса напряжения 110 кВ и 220 кВ.

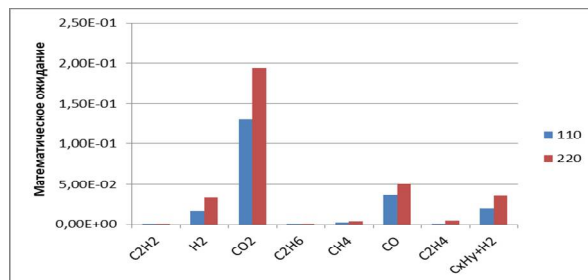


Рис. 1. Значения математического ожидания

Как видно из рисунка 1, математические ожидания концентраций больше у класса напряжения 220 кВ, что говорит о более интенсивном газообразовании у вводов 220 кВ.

ВЫВОДЫ

По итогам дисперсионного анализа были сделаны выводы, позволяющие сформировать систему оценки результатов АРГ трансформаторных вводов 110-220 кВ. При расчете ДЗ (ПДЗ) концентраций газов для оценки технического состояния маслonaполненных высоковольтных вводов необходимо их делить на следующие группы:

- герметичные и негерметичные при расчете всех концентраций газов;
- по классу напряжения 110 и 220кВ при расчете всех концентраций газов;
- по маркам масла на ГК и Т-750 при расчете всех газов, кроме ацетилена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 153-34.0-46.302-00 "Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле".
2. Методические указания по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110-750кВ. ООО «Масса» г. Москва 2016 год.
3. Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов в силовых трансформаторах, реакторах и газовом реле по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле. Отчет о НИР. Разработано: Инновационно – внедренческий центр «Электромехтехноком» ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого президента России Б. Н. Ельцина" г. Екатеринбург 2018 год.
4. И.В. Давиденко. Методика получения допустимых и предельно-допустимых значений контролируемых параметров маслonaполненного оборудования на основе массива наблюдаемых данных на примере анализа растворенных в масле газов.- Журнал «Электричество», №6, 2009.
5. Информационный портал. URL: <http://univer.nn.ru/ekonometrika/tablica-znachenij-f-kriteriya-fishera/> (дата обращения 10.05.18).